



**BERGISCHE  
UNIVERSITÄT  
WUPPERTAL**

**Modulhandbuch des Studiengangs  
Computer Simulation in Science**

Stand: 12. Februar 2019

# Inhaltsverzeichnis

<b>Computer Simulation</b>	<b>4</b>
CSim1 Computer Simulation 1 . . . . .	4
CSim2 Computer Simulation 2 . . . . .	7
CSim3 Computer Simulation 3 . . . . .	9
<b>Computer Science</b>	<b>12</b>
CS1 Computer Science 1 . . . . .	12
CS2 Computer Science 2 . . . . .	14
<b>Numerical Methods</b>	<b>16</b>
NM1 Numerical Methods 1 . . . . .	16
NM2a Numerical Methods 2a . . . . .	18
NM2b Numerical Methods 2b . . . . .	20
NM3 Numerical Methods 3 . . . . .	22
<b>Atmospheric Physics</b>	<b>23</b>
AtmP1 Atmospheric Physics 1 . . . . .	23
AtmP2a Atmospheric Physics 2a . . . . .	26
AtmP2b Atmospheric Physics 2b . . . . .	28
<b>Computational Electromagnetics</b>	<b>30</b>
CEM1 Computational Electromagnetics 1 . . . . .	30
CEM2 Computational Electromagnetics 2 . . . . .	31
<b>Computational Fluid Mechanics</b>	<b>32</b>
CFM1 Computational Fluid Mechanics 1 . . . . .	32
CFM2 Computational Fluid Mechanics 2 . . . . .	35
<b>Experimental Particle Physics</b>	<b>39</b>
EPP1 Experimental Particle Physics 1 . . . . .	39
EPP2 Experimental Particle Physics 2 . . . . .	41
<b>Financial Mathematics</b>	<b>44</b>
FM1 Financial Mathematics 1 . . . . .	44
FM2 Financial Mathematics 2 . . . . .	46
<b>Imaging in Medicine</b>	<b>48</b>
IMG1 Imaging 1 . . . . .	48
IMG2 Imaging 2 . . . . .	50
<b>Materials Science</b>	<b>52</b>
MSci1 Materials Science 1 . . . . .	52
MSci2 Materials Science 2 . . . . .	54
<b>Theoretical Chemistry</b>	<b>56</b>
TC1 Theoretical Chemistry 1 . . . . .	56
TC2 Theoretical Chemistry 2 . . . . .	58
<b>Theoretical Particle Physics</b>	<b>59</b>
TPP1 Theoretical Particle Physics 1 . . . . .	59
TPP2 Theoretical Particle Physics 2 . . . . .	62

**Master Thesis**

**65**

MT	Master Thesis	.....	65
----	---------------	-------	----

# Computer Simulation

## CSim1 Computer Simulation 1

<b>Stellung im Studiengang:</b> Pflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten.	<b>Workload:</b> 11 LP
<b>Stellung der Note:</b> 11/120	Das Modul sollte im 1. Semester begonnen werden.	330 h
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b> In the block course the students refresh the basics of analysis and linear algebra indispensable for the master program. The students will learn basic algorithms and how to apply them in problems of physics and mathematics. In the lecture they will become familiar with the derivation of the principles of the algorithms and will understand simple examples. In the exercises they will program solutions of more complex problems. The accompanying laboratory course will extend the knowledge on algorithms and students will work out larger projects independently.		
<b>Modulverantwortliche(r):</b> Dr. Stephan Dürr, Prof. Dr. Francesco Knechtli, Dr. Tomasz Korzec		

### Nachweise zu Computer Simulation 1

Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Schriftliche Prüfung (Klausur) (2-mal wiederholbar )	<b>Prüfungsdauer:</b> 180 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 7	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
<b>Bemerkungen:</b> English Translation: written module examination (180 minutes), can be repeated twice.			
Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Elektronische Prüfung (2-mal wiederholbar )	<b>Prüfungsdauer:</b> 180 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 7	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
<b>Bemerkungen:</b> English Translation: Electronic module examination (180 minutes), can be repeated twice. Die Form der Modulabschlussprüfung wird zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben. English Translation: The type of the final module exam will be announced at the beginning of the lecture.			
unbenotete Studienleistung			
<b>Art des Nachweises:</b> zu Introduction to Computer Simulation: Übungen	<b>Prüfungsdauer:</b> -	<b>Nachgewiesene LP:</b> 2	<b>Nachweis für:</b> Modulteil(e) c a

<b>Nachweise zu Computer Simulation 1</b> (Fortsetzung)			
<b>Bemerkungen:</b>			
English Translation: Exercises Introduction to Computer Simulation			
Unbenotete Übungen zu Introduction to Computer Simulation (mindestens 50 Prozent der Übungspunkte, 2 LP) und zu Block Course on Mathematical Foundations (schriftliche Prüfung, 2 LP) sind Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung.			
English Translation: ungraded exercises for Introduction to Computer Simulation (at least 50 per cent of the exercise points, 2 cr) and for Block Course on Mathematical Foundations (written exam, 2 cr) are required for the registration for the final module exam.			
unbenotete Studienleistung			
<b>Art des Nachweises:</b> zu Block Course on Mathematical Foundations: schriftliche Prüfung, 60 Minuten	<b>Prüfungsdauer:</b> -	<b>Nachgewiesene LP:</b> 2	<b>Nachweis für:</b> Modulteil(e) b

<b>a Introduction to Computer Simulation</b>			
<b>Stellung im Modul:</b> Pflicht (4 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 75 h	<b>Kontaktzeit:</b> 4 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im: WS</b>	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• MATLAB</li> <li>• Numerical precision and simple algorithms (e.g. finding zeros of a function)</li> <li>• Algorithms of linear algebra: linear systems of equations, eigenvalues</li> <li>• Initial value problems (Runge-Kutta-integration); application to Kepler-problems</li> <li>• Fourier transformation</li> <li>• Molecular dynamics</li> <li>• Numerical integration</li> <li>• Fitting of data</li> </ul>			
<b>Voraussetzungen:</b>			
<b>Bemerkungen:</b>			

<b>b Block Course on Mathematical Foundations</b>			
<b>Stellung im Modul:</b> Pflicht (2 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 48,75 h	<b>Kontaktzeit:</b> 1 SWS × 11,25 h

<b>b Block Course on Mathematical Foundations</b> (Fortsetzung)	
<b>Angebot im:</b> SS	<b>Fremdkomponente:</b> nein
<b>Inhalte:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Differential and integral calculus (in several dimensions)</li> <li>• Matrix calculus</li> </ul>	
<b>Bemerkungen:</b>	
<p>Die Teilnahme an den Übungen ist freiwillig, aber dringend empfohlen.          English Translation: The attendance at the exercises is optional but urgently recommended.</p>	

<b>c Lab Course 1</b>			
<b>Stellung im Modul:</b> Pflicht (5 LP)	<b>Lehrform:</b> Übung	<b>Selbststudium:</b> 93,75 h	<b>Kontaktzeit:</b> 5 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> WS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b>			
<p>Programming assignments to solve problems chosen from the topics:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Random number generators</li> <li>• Monte Carlo integration</li> <li>• Boundary value problems: iterative solution of the Laplace-equation; applications in electrostatics</li> <li>• Diffusion</li> <li>• Chaos</li> <li>• Percolation</li> <li>• Monte Carlo simulation of the two-dimensional Ising model</li> <li>• Neural networks</li> <li>• Navier-Stokes equations</li> <li>• Finite elements method</li> </ul>			
<b>Voraussetzungen:</b>			
<b>Bemerkungen:</b>			

## CSim2 Computer Simulation 2

<b>Stellung im Studiengang:</b> Pflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten.	<b>Workload:</b> 13 LP
<b>Stellung der Note:</b> 13/120	Das Modul sollte im 2. Semester begonnen werden.	390 h
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b> Introduction to mathematical concepts and practical methods of data analysis strongly based on practical examples. The students shall be enabled to autonomously solve basic problems in data analysis. The students learn the specific algorithmic requirements in high performance computing. They are able to develop complex parallel algorithms, to analyze them and judge their efficiency.		
<b>Voraussetzungen:</b> No formal pre-requisites.		
<b>Bemerkungen:</b> Knowledge of numerical mathematics and basic algorithms from Bachelor is assumed.		
<b>Modulverantwortliche(r):</b> Prof. Dr. Andreas Frommer, Dr. Julian Rautenberg		

### Nachweise zu Computer Simulation 2

Teil der Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Sammelmappe mit Begutachtung (uneingeschränkt)	<b>Prüfungsdauer:</b> -	<b>Nachgewiesene LP:</b> 13	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
<b>Bemerkungen:</b> Sammelmappe mit Begutachtung (uneingeschränkt wiederholbar): Komponente a): Data Analysis - Nachgewiesene LP: 5 - Bearbeitungen der wöchentlichen ausgegebenen Übungsaufgaben - Fachgespräch von 30 Minuten Dauer Komponente b): Parallel Algorithms- Nachgewiesene LP: 8 - Bearbeitungen der wöchentlichen ausgegebenen Übungsaufgaben - Fachgespräch von 30 Minuten Dauer  English Translation: Assessment of folder (unrestrictedly repeatable): Component a): Data Analysis - Credit Points LP: 5 - Solution of weekly exercises - Oral discussion: length of 30 minutes Component b): Parallel Algorithms - Credit Points LP: 8 - Solution of weekly exercises - Oral discussion: length 30 minutes			

<b>a Data Analysis</b>			
<b>Stellung im Modul:</b> Pflicht (5 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung	<b>Selbststudium:</b> 105 h	<b>Kontaktzeit:</b> 4 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> SS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b> Probability, important distributions and their properties, expectation values, RMS, correlation, error propagation, tests, parameter estimation, max. likelihood, least squares, fits, optimisation, confidence intervals, detector unfolding, special methods (Bootstrap, Jackknife), parameterisation			
<b>Bemerkungen:</b>			

<b>b Parallel Algorithms</b>			
<b>Stellung im Modul:</b> Pflicht (8 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 172,5 h	<b>Kontaktzeit:</b> 6 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> SS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b> Parallel architectures and parallel programming models, speedup, efficiency, scalability, linear systems of equations, communication avoiding, sparse matrices and graphs, partitioning methods, iterative methods, colouring schemes, preconditioning using different methods (e.g., incomplete factorizations, domain decomposition and Schwarz iterative methods)			



## CSim3 Computer Simulation 3

<b>Stellung im Studiengang:</b> Pflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten.	<b>Workload:</b> 12 LP
<b>Stellung der Note:</b> 12/120	Das Modul sollte im 3. Semester begonnen werden.	360 h
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b> The students will learn how to tackle problems which require parallelization. In Introduction to Computer Simulation II they will acquire the algorithmic skills and learn how to parallelize the solution of problems. In the Laboratory Course II they will program these solutions in C with Message Passing Interface (MPI) and at the end work on a larger simulation project, using a parallel supercomputer.		
<b>Voraussetzungen:</b> CSim1, Modern Programming (CS1).		
<b>Bemerkungen:</b> Knowledge of numerical mathematics and basic algorithms from bachelor are assumed.		
<b>Modulverantwortliche(r):</b> Prof. Dr. Francesco Knechtli, Prof. Dr. Dr. Thomas Lippert		

### Nachweise zu Computer Simulation 3

Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Schriftliche Prüfung (Klausur) (2-mal wiederholbar )	<b>Prüfungsdauer:</b> 180 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 10	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
<b>Bemerkungen:</b> English Translation: written module examination (180 minutes), can be repeated twice			
Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Elektronische Prüfung (2-mal wiederholbar )	<b>Prüfungsdauer:</b> 180 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 10	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
<b>Bemerkungen:</b> Die Form der Modulabschlussprüfung wird zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben. English Translation: The type of the final module exam will be announced at the beginning of the lecture.			
unbenotete Studienleistung			
<b>Art des Nachweises:</b> zu Lab Course II: Übungen	<b>Prüfungsdauer:</b> -	<b>Nachgewiesene LP:</b> 2	<b>Nachweis für:</b> Modulteil(e) a b

<b>Nachweise zu Computer Simulation 3</b> (Fortsetzung)
<p><b>Bemerkungen:</b></p> <p>English Translation: Exercises in Lab Course II</p> <p>Unbenotete Übungen zu Lab Course II (2 LP), mindestens 50 Prozent dieser Übungspunkte sind Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung.</p> <p>English Translation: ungraded exercises for Lab Course II (2 cr), at least 50 per cent of these exercise points are required for the registration for the final module exam.</p>

<b>a Introduction to Computer Simulation II</b>			
<b>Stellung im Modul:</b> Pflicht (4 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung	<b>Selbststudium:</b> 97,5 h	<b>Kontaktzeit:</b> 2 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> WS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<p><b>Inhalte:</b></p> <p>Physical and mathematical problems will be discussed together with the parallel algorithms used to solve them:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Linear algebra (matrix product, Lanczos and CG algorithm and others)</li> <li>• Differential equations</li> <li>• Many-body problems</li> <li>• Monte Carlo simulation of statistical systems</li> </ul>			
<b>Voraussetzungen:</b>			
<b>Bemerkungen:</b>			

<b>b Lab Course II</b>			
<b>Stellung im Modul:</b> Pflicht (8 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 195 h	<b>Kontaktzeit:</b> 4 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> WS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		

**b Lab Course II** (Fortsetzung)

**Inhalte:**

Parallel programming in C with MPI: basic structure and commands of MPI programs, applied to solve exercises from the material covered in the lecture 'Introduction to Computer Simulation II'. Students will also work on a large project, for example on simulation of the four-dimensional Ising model, q-state Potts models or three-dimensional two-component scalar field theory, discretized on a lattice, or alternatively many-body simulations (Lennard-Jones potential with systolic algorithm), time dependent Schrödinger equation, electromagnetic radiation and computational fluid flow.

The students will run simulations on a high performance parallel computer, also studying the scalability of their programs.

**Voraussetzungen:**
**Bemerkungen:**

## Computer Science

### CS1 Computer Science 1

<b>Stellung im Studiengang:</b> Pflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten.	<b>Workload:</b> 9 LP
<b>Stellung der Note:</b> 9/120	Das Modul sollte im 1. Semester begonnen werden.	270 h
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b> Designing and implementing larger software projects using object-oriented methods. Students will be trained on applying virtualization technologies in the context of GRID and cloud computing.		
<b>Voraussetzungen:</b> No formal pre-requisites.		
<b>Bemerkungen:</b> Knowledge of one programming language is assumed.		
<b>Modulverantwortliche(r):</b> Dr. Holger Arndt, Dr. Torsten Harenberg		

### Nachweise zu Computer Science 1

Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Sammelmappe mit Begutachtung (uneingeschränkt)	<b>Prüfungsdauer:</b> -	<b>Nachgewiesene LP:</b> 7	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
<b>Bemerkungen:</b> Ein unbenotetes Referat zu Virtualization 1 (2 LP) ist Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung. English Translation: an ungraded presentation for Virtualization 1 (2 cr) is required for the registration for the final module exam. Sammelmappe mit Begutachtung. Inhalt, Frist und Form der jeweiligen Einzelleistung wird zu Semesterbeginn vom Prüfungsausschuss durch Aushang bekannt gegeben. English Translation: Assessment of folder. Contents, Time and form of each single achievement will be announced at the beginning of the semester through notice from the examination board.			
unbenotete Studienleistung			
<b>Art des Nachweises:</b> zu Virtualization 1: Referat	<b>Prüfungsdauer:</b> -	<b>Nachgewiesene LP:</b> 2	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
<b>Bemerkungen:</b> English Translation: ungraded presentation for Virtualization 1			

<b>a Modern Programming</b>			
<b>Stellung im Modul:</b> Pflicht (6 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 135 h	<b>Kontaktzeit:</b> 4 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im: WS</b>	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b> Overview of software engineering, C++, debugging, Makefiles, design patterns, GUIs			

<b>b Virtualization 1</b>			
<b>Stellung im Modul:</b> Pflicht (3 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 56,25 h	<b>Kontaktzeit:</b> 3 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im: WS</b>	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b> Introduction to virtualization and its application in Science. Topics covered are general virtualization technologies like hypervisors, paravirtualization and Operating-system-level virtualization, containers as well as their usage in the context of scientific Grid and Cloud Computing. Hands-on training on a selected topic.			

<b>CS2 Computer Science 2</b>		
<b>Stellung im Studiengang:</b> Pflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten.	<b>Workload:</b> 7 LP
<b>Stellung der Note:</b> 7/120	Das Modul sollte im 2. Semester begonnen werden.	210 h
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b> Tools: Overview of different tools for software engineering. Image Processing and Data Visualization: The students will learn the basics of image processing in general and image analysis of tomographic images in particular. Virtualization 2: The students will acquire an overview of orchestration. They will learn how to use these techniques for applications and how to set up such systems.		
<b>Voraussetzungen:</b> No formal pre-requisites.		
<b>Bemerkungen:</b> Knowledge of one programming language is assumed.		
<b>Modulverantwortliche(r):</b> Dr. Holger Arndt, Dr. Torsten Harenberg, Prof. Dr. Uwe Pietrzyk, Dr. Markus Axer		

<b>Nachweise zu Computer Science 2</b>			
Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Sammelmappe mit Begutachtung (uneingeschränkt)	<b>Prüfungsdauer:</b> -	<b>Nachgewiesene LP:</b> 7	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
<b>Bemerkungen:</b> Sammelmappe mit Begutachtung, Inhalt, Frist und Form der jeweiligen Einzelleistung wird zu Semesterbeginn vom Prüfungsausschuss durch Aushang bekannt gegeben. English Translation: assessment of folder, contents, time and form of each single achievement will be announced at the beginning of the semester through notice from the examination board. To achieve the required 7 credit points the students can choose one of the lectures „Image Processing and Data Visualization“ or „Virtualization 2“ in addition to the lecture „Tools“ . Students with specialization „Imaging“ have to choose „Virtualization 2“ .			

<b>a Tools</b>			
<b>Stellung im Modul:</b> Pflicht (3 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 67,5 h	<b>Kontaktzeit:</b> 2 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> SS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		

<b>a Tools</b> (Fortsetzung)	
<b>Inhalte:</b> Version control systems, computer algebra packages, script languages, unit testing, Fortran, combining different programming languages, profiling, numerical libraries, important data structures (trees, hash tables)	

<b>b Image Processing and Data Visualization</b>			
<b>Stellung im Modul:</b> Wahlpflicht (4 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 86,25 h	<b>Kontaktzeit:</b> 3 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> WS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b> Visualization pipeline, data sources and data types, transformation and filtering of data, techniques for visualizing 1, 2-, and 3d scalar data, marching cube algorithm, rendering systems and methods, ray-tracing, perception and color, color models, visualizing vector field data, information visualization of physical and abstract data, aesthetics and techniques in graphical design.			

<b>c Virtualization 2</b>			
<b>Stellung im Modul:</b> Wahlpflicht (4 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 86,25 h	<b>Kontaktzeit:</b> 3 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> WS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b> Additional training on virtualization techniques including orchestration of containerized environments. Protocols in virtualized environments and their usage. Hands-On training with project.			
<b>Bemerkungen:</b> Alternative to be mandatory for students with specialization Imaging.			

## Numerical Methods

### NM1 Numerical Methods 1

<b>Stellung im Studiengang:</b> Pflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten.	<b>Workload:</b> 8 LP
<b>Stellung der Note:</b> 8/120	Das Modul sollte im 1. Semester begonnen werden.	240 h
<b>Bemerkungen Modul im Studiengang:</b>		
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b> Students are familiar with complex algorithms for the numerical simulation of ordinary differential equations and are able to analyze and classify them, apply them properly and develop them further.		
<b>Voraussetzungen:</b> Bearbeitung der wöchentlich ausgegebenen unbenoteten Übungsaufgaben zu Numerical Analysis and Simulation I (2 LP) ist Voraussetzung für die Anmeldung zur Prüfung. English Translation: ungraded weekly exercises for Numerical Analysis and Simulation I (2 cr) are required for the registration for the exam.		
<b>Bemerkungen:</b> Numerical Analysis at bachelor level.		
<b>Modulverantwortliche(r):</b> Prof. Dr. Michael Günther		

### Nachweise zu Numerical Methods 1

Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Schriftliche Prüfung (Klausur) (uneingeschränkt )	<b>Prüfungsdauer:</b> 120 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 6	<b>Nachweis für:</b> Modulteil(e) a
<b>Bemerkungen:</b> English Translation: written examination of Numerical Analysis and Simulation I, (120 min), unrestrictedly repeatable			
Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Mündliche Prüfung (uneingeschränkt )	<b>Prüfungsdauer:</b> 30 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 6	<b>Nachweis für:</b> Modulteil(e) a
<b>Bemerkungen:</b> English Translation: oral examination of Numerical Analysis and Simulation I (30 minutes), unrestrictedly repeatable. Die Form der Modulabschlussprüfung wird zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben. English Translation: The type of the final module exam will be announced at the beginning of the lecture.			
unbenotete Studienleistung			



<b>Nachweise zu Numerical Methods 1</b> (Fortsetzung)			
<b>Art des Nachweises:</b> zu Numerical Analysis and Simulation I: Übungen	<b>Prüfungsdauer:</b> -	<b>Nachgewiesene LP:</b> 2	<b>Nachweis für:</b> Modulteil(e) a
<b>Bemerkungen:</b> Bearbeitung der wöchentlich ausgegebenen Übungsaufgaben, Voraussetzung für die Anmeldung zur Prüfung. English Translation: ungraded weekly exercises for Numerical Analysis and Simulation I, required for the registration for the exam.			

<b>a Numerical Analysis and Simulation I</b>			
<b>Stellung im Modul:</b> Pflicht (8 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 172,5 h	<b>Kontaktzeit:</b> 6 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> WS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ordinary Differential Equations (ODE) models in Science</li> <li>• Short synopsis on the theory of ODEs</li> <li>• One-Step methods and extrapolation methods</li> <li>• Multi-step methods</li> <li>• Numerical methods for stiff systems</li> <li>• Application-oriented models and schemes</li> <li>• Boundary Value Problems</li> <li>• Methods for Differential Algebraic Equations</li> <li>• Geometric integrators</li> </ul>			

## NM2a Numerical Methods 2a

<b>Stellung im Studiengang:</b> Wahlpflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten.	<b>Workload:</b> 8 LP
<b>Stellung der Note:</b> 8/180	Das Modul sollte im 2. Semester begonnen werden.	240 h
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b> Students are familiar with complex algorithms for the numerical simulation of partial differential equations and are able to analyze and classify them, apply them properly and develop them further.		
<b>Voraussetzungen:</b> Bearbeitung der wöchentlich ausgegebenen unbenoteten Übungsaufgaben zu Numerical Analysis and Simulation II (2 LP) ist Voraussetzung für die Anmeldung zur Prüfung. English Translation: ungraded weekly exercises for Numerical Analysis and Simulation II (2 cr) are required for the registration for the exam.		
<b>Bemerkungen:</b> Numerical Analysis at bachelor level. The students can choose either module Numerical Methods 2a or module Numerical Methods 2b to achieve the required 8 credit points.		
<b>Modulverantwortliche(r):</b> Prof. Dr. Ehrhardt		

### Nachweise zu Numerical Methods 2a

Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Schriftliche Prüfung (Klausur) (uneingeschränkt )	<b>Prüfungsdauer:</b> 120 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 6	<b>Nachweis für:</b> Modulteil(e) a
<b>Bemerkungen:</b> English Translation: written examination of Numerical Analysis and Simulation II (120 minutes), unrestrictedly repeatable.			
Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Mündliche Prüfung (uneingeschränkt )	<b>Prüfungsdauer:</b> 30 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 6	<b>Nachweis für:</b> Modulteil(e) a
<b>Bemerkungen:</b> English Translation: oral examination of Numerical Analysis and Simulation II (30 minutes), unrestrictedly repeatable. Die Form der Modulabschlussprüfung wird zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben. English Translation: The type of the final module exam will be announced at the beginning of the lecture.			
unbenotete Studienleistung			
<b>Art des Nachweises:</b> Übungen	<b>Prüfungsdauer:</b> -	<b>Nachgewiesene LP:</b> 2	<b>Nachweis für:</b> Modulteil(e) a

**Nachweise zu Numerical Methods 2a** (Fortsetzung)

**Bemerkungen:**

Bearbeitung der wöchentlich ausgegebenen Übungsaufgaben, Voraussetzung für die Anmeldung zur Prüfung.  
English Translation: ungraded weekly exercises for Numerical Analysis and Simulation II, required for the registration for the exam.

**a Numerical Analysis and Simulation II**

<b>Stellung im Modul:</b> Wahlpflicht (8 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 172,5 h	<b>Kontaktzeit:</b> 6 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> SS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		

**Inhalte:**

- Classification and well-posedness of PDEs; basic principles: derivation and discretization of PDEs; elliptic problems (maximum principle and finite differences, variational formulation and Sobolev spaces, finite elements); numerical solutions of discretized problems
- hyperbolic systems, especially conservation laws (weak formulation, theory of characteristics, entropy, conservative schemes)
- parabolic problems (evolution equations, method of lines, Rothe-method and convergence)
- mixed systems (models of heterogeneous systems, splitting schemes)
- case studies

## NM2b Numerical Methods 2b

<b>Stellung im Studiengang:</b> Wahlpflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten.	<b>Workload:</b> 8 LP
<b>Stellung der Note:</b> 8/180	Das Modul sollte im 2. Semester begonnen werden.	240 h
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b> Numerical Methods in Classical Field Theory and Quantum Mechanics: The students will learn different numerical techniques to solve problems in classical field theory and quantum mechanics. The focus will be on the implementation on parallel computers. Students will have to write a term paper about one project, learning how to prepare a documentation.		
<b>Voraussetzungen:</b> Unbenotete Übungsaufgaben und schriftliche Ausarbeitung zu Numerical Methods in Classical Field Theory and Quantum Mechanics (5 LP) sind Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung. English Translation: ungraded small homework and term paper for Numerical Methods in Classical Field Theory and Quantum Mechanics (5 cr), required for the registration for the final module exam.		
<b>Bemerkungen:</b> Quantum Mechanics at bachelor level. Particularly suited for students with Bachelor of Physics or Applied Science		
<b>Modulverantwortliche(r):</b> Prof. Dr. Dr. Lippert		

### Nachweise zu Numerical Methods 2b

Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Mündliche Prüfung (uneingeschränkt )	<b>Prüfungsdauer:</b> 30 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 3	<b>Nachweis für:</b> Modulteil(e) a
<b>Bemerkungen:</b> English Translation: oral module examination (30 minutes), unrestrictedly repeatable.			
unbenotete Studienleistung			
<b>Art des Nachweises:</b> Ausarbeitung	<b>Prüfungsdauer:</b> -	<b>Nachgewiesene LP:</b> 5	<b>Nachweis für:</b> Modulteil(e) a
<b>Bemerkungen:</b> Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung. English Translation: ungraded small homework and term paper for Numerical Methods in Classical Field Theory and Quantum Mechanics, required for the registration for the final module exam.			

### a Numerical Methods in Classical Field Theory and Quantum Mechanics

<b>Stellung im Modul:</b> Wahlpflicht (8 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 195 h	<b>Kontaktzeit:</b> 4 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> SS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		

**a Numerical Methods in Classical Field Theory and Quantum Mechanics** (Fortsetzung)**Inhalte:**

- Hydrodynamics: direct simulation of Navier-Stokes for incompressible fluids, lattice-gas models
- Electrodynamics: time-dependent propagation of electromagnetic fields, Yee-Weilandt discretization
- Eigenvalue methods for electromagnetic cavities
- Non-equilibrium thermodynamics of many-body problems
- Quantum mechanics: time-dependent Schrödinger equation, quantum-spin dynamics for quantum computing, Feynman-Kac path integral

## NM3 Numerical Methods 3

<b>Stellung im Studiengang:</b> Pflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten.	<b>Workload:</b> 6 LP
<b>Stellung der Note:</b> 6/120	Das Modul sollte im 3. Semester begonnen werden.	180 h
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b> The students become familiar with basic concepts of Numerical Mathematics. They are able to analyze and develop basic schemes in Numerical Analysis of Linear and Nonlinear systems.		
<b>Voraussetzungen:</b> No formal pre-requisites.		
<b>Modulverantwortliche(r):</b> Prof. Dr. Andreas Frommer		

### Nachweise zu Numerical Methods 3

Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Schriftliche Prüfung (Klausur) (uneingeschränkt)	<b>Prüfungsdauer:</b> 120 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 6	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
<b>Bemerkungen:</b> English Translation: written module examination (120 minutes), unrestrictedly repeatable			
Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Mündliche Prüfung (uneingeschränkt)	<b>Prüfungsdauer:</b> 30 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 6	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
<b>Bemerkungen:</b> English Translation: oral module examination (30 minutes), unrestrictedly repeatable. Die Form der Modulabschlussprüfung wird zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben. English Translation: The type of the final module exam will be announced at the beginning of the lecture.			

### a Numerical Linear Algebra

<b>Stellung im Modul:</b> Pflicht (6 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 146,25 h	<b>Kontaktzeit:</b> 3 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im: WS</b>	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b> Direct and iterative methods for solving linear systems and eigenvalue and singular value problems. The methods are analyzed w.r.t. stability, convergence, and complexity. Their application in different contexts is discussed.			

## Atmospheric Physics

### AtmP1 Atmospheric Physics 1

<b>Stellung im Studiengang:</b> Wahlpflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten.	<b>Workload:</b> 8 LP
<b>Stellung der Note:</b> 8/120	Das Modul sollte im 2. Semester begonnen werden.	240 h
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b>		
<p>With this lecture the students will deepen their knowledge of the basic concepts. The lecture is centered around communicating expertise and skills on specific topics of atmospheric physics, atmospheric chemistry, measurement techniques as well as numerical modelling.</p> <p>The Summer School on Chemistry and Dynamics of the Atmosphere is a one week course held at the Research Centre Jülich. The students will get an overview of the basics as well as special topics of atmospheric physics and chemistry. They will also get to know the relation of atmospheric research to adjacent disciplines to get a broader insight in interdisciplinary scientific questions. They will become acquainted with state-of-the-art measurement techniques and their applications. Furthermore, this course offers the opportunity to intensively discuss with the leading scientists in the field, who are available throughout the course. After the course the students should be able to summarize the basic concepts of atmospheric chemistry and physics and thoroughly report their experience.</p>		
<b>Voraussetzungen:</b>		
<b>Bemerkungen:</b>		
To achieve the required 8 credit points the students can choose one of the lectures „Selected topics in Atmospheric Physics“ or „Atmospheric Modelling“ in addition to the lecture „Summer School on Chemistry and Dynamics of the Atmosphere (Jülich)“ .		
<b>Modulverantwortliche(r):</b>		
Prof. Dr. Ralf Koppmann, Jun.-Prof. Dr. Felix Plöger		

### Nachweise zu Atmospheric Physics 1

Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Sammelmappe mit Begutachtung (uneingeschränkt )	<b>Prüfungsdauer:</b> -	<b>Nachgewiesene LP:</b> 5	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
<b>Bemerkungen:</b>			
<p>Sammelmappe mit Begutachtung, Inhalt, Frist und Form der jeweiligen Einzelleistung wird zu Semesterbeginn vom Prüfungsausschuss durch Aushang bekannt gegeben. English Translation: assessment of folder (8 cr), unrestrictedly repeatable Contents, time and form of each single achievement will be announced at the beginning of the semester through notice from the examination board.</p>			

<b>a Selected Topics in Atmospheric Physics</b>			
<b>Stellung im Modul:</b> Wahlpflicht (3 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung	<b>Selbststudium:</b> 67,5 h	<b>Kontaktzeit:</b> 2 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> SS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b> Depending on up-to-date topics: Dynamics of the atmosphere, Atmospheric chemistry, Solar physics and the magnetosphere, Molecular spectroscopy, Numerical modelling, Planetary atmospheres			

<b>b Summer School on Chemistry and Dynamics of the Atmosphere (Jülich)</b>			
<b>Stellung im Modul:</b> Pflicht (5 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung	<b>Selbststudium:</b> 116,25 h	<b>Kontaktzeit:</b> 3 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> SS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Structure and composition of the atmosphere</li> <li>• Gas phase chemistry of the troposphere</li> <li>• Physics and chemistry of aerosols</li> <li>• Isotope ratios in trace gases</li> <li>• Stratospheric chemistry</li> <li>• Remote sensing techniques</li> <li>• Interaction of chemistry and transport</li> <li>• Global change</li> <li>• Numerical Modelling</li> </ul>			
<b>Bemerkungen:</b> One week course of the Universities Cologne and Wuppertal together with the institutes ICG –I and ICG-II of the Research Centre Jülich			

<b>c Atmospheric Modelling</b>			
<b>Stellung im Modul:</b> Wahlpflicht (3 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 67,5 h	<b>Kontaktzeit:</b> 2 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> SS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		



## **c Atmospheric Modelling** (Fortsetzung)

### **Inhalte:**

- Introduction: Types of models
- Atmospheric structure and model equations for transport and dynamics
- Conceptual lower-dimensional mathematical models (example: stratospheric Brewer-Dobson circulation)
- Numerical models
- Numerical approaches for atmospheric models
- Numerical methods for advection

## AtmP2a Atmospheric Physics 2a

<b>Stellung im Studiengang:</b> Wahlpflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten.	<b>Workload:</b> 8 LP
<b>Stellung der Note:</b> 8/120	Das Modul sollte im 3. Semester begonnen werden.	240 h
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b> The lecture Introduction to Atmospheric Physics leads to an understanding of the fundamental concepts of atmospheric physics. The goal is to impart knowledge and application of the basic equations as well as the interaction of physical and chemical processes. This will be the basis for a general overview of trace gas budgets, the Earth's radiation budget, and atmospheric circulation. With this knowledge basic phenomena of weather and climate can be understood.		
<b>Voraussetzungen:</b> Eine unbenotete kleine Hausarbeit zu Atmospheric Physics (3 LP) ist Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung. English Translation: an ungraded small homework for Introduction to Atmospheric Physics (3 cr) is required for the registration for the final module exam.		
<b>Bemerkungen:</b> Particularly suited for students with Bachelor of Physics or Applied Science. The students can choose either module Atmospheric 2a or module Atmospheric 2b to achieve the required 8 credit points.		
<b>Modulverantwortliche(r):</b> Prof. Dr. Ralf Koppmann		

### Nachweise zu Atmospheric Physics 2a

Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Mündliche Prüfung (uneingeschränkt )	<b>Prüfungsdauer:</b> 30 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 5	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
<b>Bemerkungen:</b> mündliche Prüfung zu Introduction to Atmospheric Physics English Translation: oral module examination for Introduction to Atmospheric Physics (30 minutes)			
unbenotete Studienleistung			
<b>Art des Nachweises:</b> zu Introduction to Atmospheric Physics: kleine Hausarbeit	<b>Prüfungsdauer:</b> -	<b>Nachgewiesene LP:</b> 3	<b>Nachweis für:</b> Modulteil(e) a

**Nachweise zu Atmospheric Physics 2a** (Fortsetzung)

**Bemerkungen:**

Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung.

English Translation: ungraded small homework for Introduction to Atmospheric Physics, required for the registration for the final module exam.

**a Introduction to Atmospheric Physics**
**Stellung im Modul:**

Wahlpflicht (8 LP)

**Lehrform:**

Vorlesung/ Übung

**Selbststudium:**

172,5 h

**Kontaktzeit:**

6 SWS × 11,25 h

**Angebot im: WS**
**Fremdkomponente:** nein

**Inhalte:**

- Basic Equations and definitions
- Atmospheric Thermodynamics
- Radiation in the Atmosphere
- Global energy budget and greenhouse effect
- Trace gases and photochemistry
- Dynamic of the atmosphere
- Atmospheric circulation
- Interaction of chemistry and transport
- External influences on the atmosphere
- Ionosphere and magnetosphere

Self-dependent solution of exercises on specific topics based on the lecture "Introduction to atmospheric physics"

<b>AtmP2b Atmospheric Physics 2b</b>		
<b>Stellung im Studiengang:</b> Wahlpflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten.	<b>Workload:</b> 8 LP
<b>Stellung der Note:</b> 8/120	Das Modul sollte im 3. Semester begonnen werden.	240 h
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b> With this lecture and seminar the students will deepen their knowledge of the basic concepts. The lecture is centered around communicating expertise and skills on specific topics of atmospheric physics, atmospheric chemistry, measurement techniques as well as numerical modelling.		
<b>Voraussetzungen:</b> ein unbenotetes Referat zu Selected Topics in Atmospheric Physics, dokumentiert durch ein schriftliches Manuskript/den Foliensatz des Vortrages (2 LP) ist Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung. English Translation: an ungraded presentation for Selected Topics in Atmospheric Physics, documented by a script/set of slides (2 cr) is required for the registration for the final module exam. und/and ein unbenotetes Referat zu Seminar on Atmospheric Physics, dokumentiert durch ein schriftliches Manuskript/den Foliensatz des Vortrages (3 LP) ist Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung. English Translation: an ungraded presentation for Seminar on Atmospheric Physics, documented by a script/set of slides (3 cr) is required for the registration for the final module exam.		
<b>Bemerkungen:</b> Particularly suited for students with Bachelor of Physics or Applied Science. The students can choose either module Atmospheric 2a or module Atmospheric 2b to achieve the required 8 credit points.		
<b>Modulverantwortliche(r):</b> Prof. Dr. Ralf Koppmann		

<b>Nachweise zu Atmospheric Physics 2b</b>			
<b>Modulabschlussprüfung</b>			
<b>Art des Nachweises:</b> Mündliche Prüfung (uneingeschränkt )	<b>Prüfungsdauer:</b> 30 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 3	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
<b>Bemerkungen:</b>  mündliche Prüfung zu Selected Topics in Atmospheric Physics in Kombination mit Seminar on Atmospheric Physics English Translation: oral module examination for Selected Topics in Atmospheric Physics (30 minutes), in combination with Seminar on Atmospheric Physics			
<b>unbenotete Studienleistung</b>			
<b>Art des Nachweises:</b> zu Selected Topics in Atmospheric Physics: Referat	<b>Prüfungsdauer:</b> -	<b>Nachgewiesene LP:</b> 2	<b>Nachweis für:</b> Modulteil(e) a

<b>Nachweise zu Atmospheric Physics 2b</b> (Fortsetzung)			
<b>Bemerkungen:</b>			
<p>ein Referat, dokumentiert durch ein schriftliches Manuskript/den Foliensatz des Vortrages, Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung. English Translation: ungraded presentation for Selected Topics in Atmospheric Physics, documented by a script/set of slides, required for the registration for the final module exam.</p>			
unbenotete Studienleistung			
<b>Art des Nachweises:</b> zu Seminar on Atmospheric Physics: Referat	<b>Prüfungsdauer:</b> -	<b>Nachgewiesene LP:</b> 3	<b>Nachweis für:</b> Modulteil(e) b
<b>Bemerkungen:</b>			
<p>ein Referat, dokumentiert durch ein schriftliches Manuskript/den Foliensatz des Vortrages, Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung. English Translation: ungraded presentation for Seminar on Atmospheric Physics, documented by a script/set of slides, required for the registration for the final module exam.</p>			

<b>a Selected Topics in Atmospheric Physics</b>			
<b>Stellung im Modul:</b> Wahlpflicht (5 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 127,5 h	<b>Kontaktzeit:</b> 2 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im: WS</b>	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b>			
Depending on up-to-date topics: Dynamics of the atmosphere, Atmospheric chemistry, Solar physics and the magnetosphere, Molecular spectroscopy, Numerical modelling, Planetary atmospheres			

<b>b Seminar on Atmospheric Physics</b>			
<b>Stellung im Modul:</b> Wahlpflicht (3 LP)	<b>Lehrform:</b> Seminar	<b>Selbststudium:</b> 67,5 h	<b>Kontaktzeit:</b> 2 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im: WS</b>	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b>			
Students shall independently deal with selected topics of atmospheric physics and chemistry and related fields and present the result in a seminar talk. With this seminar various soft skills will be trained: Search and assessment of recent literature, suitable preparation of information for a presentation, structure of a scientific presentation, presentation of the relevant information in a well-adjusted form to various target groups.			

## Computational Electromagnetics

### CEM1 Computational Electromagnetics 1

<b>Stellung im Studiengang:</b> Wahlpflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten.	<b>Workload:</b> 8 LP
<b>Stellung der Note:</b> 8/120	Das Modul sollte im 2. Semester begonnen werden.	240 h
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b> Getting an overview of an insight into various techniques to numerically simulate electromagnetic and coupled multiphysics field problems in highly complex technical systems or biological organisms.		
<b>Voraussetzungen:</b> No formal pre-requisites.		
<b>Modulverantwortliche(r):</b> Prof. Dr. Markus Clemens		

#### Nachweise zu Computational Electromagnetics 1

Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Schriftliche Prüfung (Klausur) (uneingeschränkt)	<b>Prüfungsdauer:</b> 120 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 8	<b>Nachweis für:</b> Modulteil(e) a
<b>Bemerkungen:</b> English Translation: written module examination (120 minutes), unrestrictedly repeatable			
Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Mündliche Prüfung (uneingeschränkt)	<b>Prüfungsdauer:</b> 30 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 8	<b>Nachweis für:</b> Modulteil(e) a
<b>Bemerkungen:</b> English Translation: oral module examination (30 minutes), unrestrictedly repeatable. Die Form der Modulabschlussprüfung wird zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben. English Translation: The type of the final module exam will be announced at the beginning of the lecture.			

#### a Computational Electromagnetics

<b>Stellung im Modul:</b> Pflicht (8 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 183,75 h	<b>Kontaktzeit:</b> 5 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> SS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b> Discrete electromagnetic field theory: Continuous geometric discretization methods for Maxwell's equations (Finite-Difference-method, Finite Integration Technique, Cell Method, Whitney Finite Element Method), discrete field formulations, implementations (commercial/research) and practical applications for electromagnetic/multiphysical field problems in complex systems/biological organisms			

## CEM2 Computational Electromagnetics 2

<b>Stellung im Studiengang:</b> Wahlpflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten.	<b>Workload:</b> 8 LP
<b>Stellung der Note:</b> 8/120	Das Modul sollte im 3. Semester begonnen werden.	240 h
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b> Within small project teams, students will learn within small "industry style" projects given to them to effectively use modern (preferably industrial standard) commercial CEM simulation tools or to alternatively develop and use own implementations of electromagnetic field simulators. They will learn to use these tools to describe and possibly optimize the electromagnetic properties of devices and systems in electrical engineering applications of science and industry. The results of their CEM simulation project work are to be presented in oral and scientific report form.		
<b>Voraussetzungen:</b> No formal pre-requisites.		
<b>Modulverantwortliche(r):</b> Prof. Dr. Markus Clemens		

### Nachweise zu Computational Electromagnetics 2

Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Mündliche Prüfung (uneingeschränkt )	<b>Prüfungsdauer:</b> 30 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 8	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
<b>Bemerkungen:</b>  English Translation: oral module examination (30 minutes), unrestrictedly repeatable			

### a Computational Electromagnetics (CEM-Lab Project)

<b>Stellung im Modul:</b> Pflicht (8 LP)	<b>Lehrform:</b> Seminar/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 183,75 h	<b>Kontaktzeit:</b> 5 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> WS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b> Team work on industry style projects including commercial electromagnetic field simulations tools (e.g. CST Suite, SEMCAD, FEKO, COMSOL) and/or custom made implementations of simulation tools. Projects goals and the selection of the CEM simulation tools may vary depending on the devices /systems to be modeled. Team presentation of project results within two oral project presentations (first mid semester, second at end of semester) and a written scientific report (paper) to be handed in at the end of the semester.			

# Computational Fluid Mechanics

## CFM1 Computational Fluid Mechanics 1

<b>Stellung im Studiengang:</b> Wahlpflicht	Das Modul erstreckt sich über 2 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten.	<b>Workload:</b> 8 LP
<b>Stellung der Note:</b> 8/120	Das Modul sollte im 1. Semester begonnen werden.	240 h
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b> Computational Fluid Dynamics <ul style="list-style-type: none"> <li>• to understand the fluid mechanical equations (Navier-Stokes equations)</li> <li>• to understand the mathematical background of CFD</li> <li>• to choose and understand different models to simulate flows (turbulence models, etc.)</li> <li>• to evaluate CFD-solutions</li> <li>• to apply CFD for the purposes of research and development</li> </ul> Smooth Particle Hydrodynamics Based on theoretical knowledge of the hydrodynamics of particle flow the application of computational models can be applied. The conceptual problem set-up of DEM/SPH can be described; a conceptual model can be developed and the problem can be converted into a computer model. The results of a numerical simulation can be interpreted and used for a general engineering design.		
<b>Voraussetzungen:</b> No formal pre-requisites.		
<b>Bemerkungen:</b> To achieve the required 8 credit points the student can choose one of the lectures b), c) or d) in addition to the compulsory lecture „Computational Fluid Dynamics“ . Fluid- and thermodynamics (Bachelor) Advanced Fluid- and thermodynamics (Master) Good mathematical and programming knowledge.		
<b>Modulverantwortliche(r):</b> Prof. Dr.-Ing. habil. Uwe Janoske, Prof. Dr.-Ing. Andreas Schlenkhoff, Jun.-Prof. Dr. Felix Plöger		

### Nachweise zu Computational Fluid Mechanics 1

Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Sammelmappe mit Begutachtung (uneingeschränkt)	<b>Prüfungsdauer:</b> -	<b>Nachgewiesene LP:</b> 8	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul



## Nachweise zu Computational Fluid Mechanics 1 (Fortsetzung)

### Bemerkungen:

Sammelmappe mit Begutachtung, Inhalt, Frist und Form der jeweiligen Einzelleistung wird zu Semesterbeginn vom Prüfungsausschuss durch Aushang bekannt gegeben.

English Translation: assessment of folder, unrestrictedly repeatable

Contents, time and form of each single achievement will be announced at the beginning of the semester through notice from the examination board.

### a Computational Fluid Dynamics

<b>Stellung im Modul:</b> Pflicht (4 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 75 h	<b>Kontaktzeit:</b> 4 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im: WS</b>	<b>Fremdkomponente:</b> nein		

#### Inhalte:

Introduction in CFD, Spatial and temporal discretization in CFD, solution of the Navier-Stokes equations (algorithms, pressure-correction methods), modeling of turbulent flows, modeling of non-isothermal flows, process of modeling in CFD, analysis and quality of CFD simulations, lab grid generation and CFD simulation

### b Smooth Particle Hydrodynamics

<b>Stellung im Modul:</b> Wahlpflicht (4 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung	<b>Selbststudium:</b> 75 h	<b>Kontaktzeit:</b> 4 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im: SS</b>	<b>Fremdkomponente:</b> nein		

#### Inhalte:

Many process steps in energy technology required for the processing of particulate solids as well as several flow phenomena in environmental sciences which are increasingly attributed to climate change like e.g. sediment transport simultaneously involve complex three-dimensional fluid and particulate flows.

These flows are characterized by complex shaped sometimes even moving boundary surfaces and a distinct free-surface behavior. Computational modeling of these flow phenomena can help understand the fundamental processes involved, predict their technical and environmental effects and help improve design and energy efficiency of related machinery.

Particle oriented methods such as smoothed particle hydrodynamics (SPH) in combination with discrete element methods (DEM) in contrast to continuum based methods offer the opportunity to be inherently capable of representing the complex free-surface behavior in these systems without relying on a mesh needed for spatial discretization of flow.

The concurrent use of particle based methods such as SPH and DEM is still limited in energy technology as well as environmental sciences. Particle based methods allow to improve energy efficiency of processes involving particulate solids as well as to better understand and study particulate/fluid flows in environmental sciences. These flows are impacted by global energy usage as shown by many recent investigations (IPCC Fourth Assessment Report).

This course is highly theoretical for engineers and towards research methodology in particular flows.

### c Multiphase Flows

<b>c Multiphase Flows</b> (Fortsetzung)			
<b>Stellung im Modul:</b> Wahlpflicht (4 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 75 h	<b>Kontaktzeit:</b> 4 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> SS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b> Basics of multiphase flows, Solid-liquid flows (single particle, bulk of particles – packed bed, fluidized bed, pneumatic transport), Gas-liquid flows (single particles, cavitation, foams, pressure drop calculation for multiphase flows), exercises			

<b>d Atmospheric Modelling</b>			
<b>Stellung im Modul:</b> Wahlpflicht (4 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 75 h	<b>Kontaktzeit:</b> 4 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> SS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduction: Types of models</li> <li>• Atmospheric structure and model equations for transport and dynamics</li> <li>• Conceptual lower-dimensional mathematical models (example: stratospheric Brewer-Dobson circulation)</li> <li>• Numerical models - Numerical approaches for atmospheric models</li> <li>• Numerical methods for advection</li> </ul>			

## CFM2 Computational Fluid Mechanics 2

<b>Stellung im Studiengang:</b> Wahlpflicht <b>Stellung der Note:</b> 8/120	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten. Das Modul sollte im 3. Semester begonnen werden.	<b>Workload:</b> 8 LP 240 h
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b> <p>Fire Simulation: Techniques and models for thermally driven turbulent fluid simulations are presented. Based on their general CFD knowledge, the students become familiar with theoretical modelling of turbulence, combustion, and pyrolysis, as used for fire and smoke simulations in civil engineering. An accompanying simulation project completes the course.</p> <p>Pedestrian Dynamics: Models of pedestrian dynamics. Basic concepts for simulation of pedestrians (movement, routing, interactions). The students gain practical experience by the accompanying simulation project.</p> <p>Groundwater Flow, Free Surface Water Flow: Based on theoretical knowledge of the hydrodynamics of flow the application of computational model can be applied. The problem can be described; a conceptual model can be developed and the problem can be converted into a computer model. The results of a numerical simulation can be interpreted and used for a engineering design.</p> <p>Smooth Particle Hydrodynamics: Based on theoretical knowledge of the hydrodynamics of particle flow the application of computational models can be applied. The conceptual problem set-up of DEM/SPH can be described; a conceptual model can be developed and the problem can be converted into a computer model. The results of a numerical simulation can be interpreted and used for a general engineering design.</p>		
<b>Voraussetzungen:</b> Fire Simulation:CFM1, NM1, CSim1, CS1 Groundwater Flow, Free Surface Water Flow: CFM1		
<b>Bemerkungen:</b> To achieve the required 8 credit points the students must choose 2 lectures from „Groundwater Flow“ (4 cr) „Free Surface Water Flow“ (4 cr) „Fire Simulation“ (4 cr) „Pedestrian Dynmaics“ (4 cr) or „Smoth Particle Hydrodynamics“  Knowledge of Programming Language C, Python or MatLab is assumed for Groundwater Flow and Free Surface Water Flow. Groundwater Flow, Free Surface Water Flow: a workshop will be established and meetings will be held every two weeks.		
<b>Modulverantwortliche(r):</b> Dr. Lukas Arnold, Prof. Dr.-Ing. Andreas Schlenkhoff, Prof. Dr. Armin Seyfried		

### Nachweise zu Computational Fluid Mechanics 2

Modulabschlussprüfung

<b>Nachweise zu Computational Fluid Mechanics 2</b> (Fortsetzung)			
<b>Art des Nachweises:</b> Sammelmappe mit Begutachtung (uneingeschränkt)	<b>Prüfungsdauer:</b> -	<b>Nachgewiesene LP:</b> 8	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
<b>Bemerkungen:</b>  Sammelmappe mit Begutachtung, Inhalt, Frist und Form der jeweiligen Einzelleistung wird zu Semesterbeginn vom Prüfungsausschuss durch Aushang bekannt gegeben. English Translation: assessment of folder, unrestrictedly repeatable. Contents, time and form of each single achievement will be announced at the beginning of the semester through notice from the examination board.			

<b>a Pedestrian Dynamics</b>			
<b>Stellung im Modul:</b> Wahlpflicht (4 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung	<b>Selbststudium:</b> 75 h	<b>Kontaktzeit:</b> 4 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> WS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b> Application of pedestrian dynamics Empirical data  <ul style="list-style-type: none"> <li>• fundamental diagram,</li> <li>• bottleneck flow,</li> <li>• bi- and multidirectional streams</li> </ul> Modeling  <ul style="list-style-type: none"> <li>• cellular automata</li> <li>• force models</li> <li>• steering models from robotics</li> <li>• routing</li> </ul>			

<b>b Smooth Particle Hydrodynamics</b>			
<b>Stellung im Modul:</b> Wahlpflicht (4 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung	<b>Selbststudium:</b> 75 h	<b>Kontaktzeit:</b> 4 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> SS	<b>Fremdkomponente:</b> ja Fremdmodul: Computational Fluid Mechanics 1 Verantwortliche(r): Prof. Dr.-Ing. habil. Uwe Janoske, Prof. Dr.-Ing. Andreas Schlenhoff, Jun.-Prof. Dr. Felix Plöger		

## b Smooth Particle Hydrodynamics (Fortsetzung)

### Inhalte:

Many process steps in energy technology required for the processing of particulate solids as well as several flow phenomena in environmental sciences which are increasingly attributed to climate change like e.g. sediment transport simultaneously involve complex three-dimensional fluid and particulate flows.

These flows are characterized by complex shaped sometimes even moving boundary surfaces and a distinct free-surface behavior. Computational modeling of these flow phenomena can help understand the fundamental processes involved, predict their technical and environmental effects and help improve design and energy efficiency of related machinery.

Particle oriented methods such as smoothed particle hydrodynamics (SPH) in combination with discrete element methods (DEM) in contrast to continuum based methods offer the opportunity to be inherently capable of representing the complex free-surface behavior in these systems without relying on a mesh needed for spatial discretization of flow.

The concurrent use of particle based methods such as SPH and DEM is still limited in energy technology as well as environmental sciences. Particle based methods allow to improve energy efficiency of processes involving particulate solids as well as to better understand and study particulate/fluid flows in environmental sciences. These flows are impacted by global energy usage as shown by many recent investigations (IPCC Fourth Assessment Report).

This course is highly theoretical for engineers and towards research methodology in particular flows.

## c Groundwater Flow

<b>Stellung im Modul:</b> Wahlpflicht (4 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 97,5 h	<b>Kontaktzeit:</b> 2 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> WS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		

### Inhalte:

Base on the general equations of flow and transport, the special application to ground water flow problems will be discussed. Overall, the objective is to be able to simulate ground water flow with a model. For this course FE and FV will be presented and finally one or two test cases will be set-up with the MODFLOW simulation package, or equivalent.

Also a short overview of field investigations techniques and classification of typical hydro-geological and soil environmental situation will be given.

Open source models will also be used as it is!

## d Free Surface Water Flow

<b>Stellung im Modul:</b> Wahlpflicht (4 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 97,5 h	<b>Kontaktzeit:</b> 2 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> WS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		

### d Free Surface Water Flow (Fortsetzung)

#### Inhalte:

Free surface flow is very often in hydraulic structures. The detection of the free surface is a highly non-linear flow problem and finally not very well understood. Therefore, in the first part of the course special applications of Navier-Stokes equation will be resumed and based on the Modul of Computational Fluid Dynamics (CFD) the techniques to solve the free surface problem will be put on focus.

In the second part of the course the application of different model approaches will be discussed. One-, two- and three- dimensional models will be used and applied to real world problems, e.g. flood protection, water turbine or pump intake, and so on. The model approach will be compared in order to optimize both accuracy and stability as well as storage space and cpu time.

Open source models and commercial codes will be used as it is and currently available. Data management, pre- and post-processing should be handled by interactive shells or self made codes (Python, MatLAB).

### e Fire Simulation

<b>Stellung im Modul:</b> Wahlpflicht (4 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 75 h	<b>Kontaktzeit:</b> 4 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> SS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		

#### Inhalte:

Civil Engineering

- Fire safety
- Fire models

Computational fluid dynamics (context of fire simulations)

- General equations, weakly compressible flows
- Transport equations
- Verification and validation
- Parallel computing and data visualization

Fire Modeling

- Turbulence
- Pyrolysis
- Combustion
- Radiation
- Soot

## Experimental Particle Physics

### EPP1 Experimental Particle Physics 1

<b>Stellung im Studiengang:</b> Wahlpflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten.	<b>Workload:</b> 8 LP
<b>Stellung der Note:</b> 8/120	Das Modul sollte im 2. Semester begonnen werden.	240 h
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b> The Standard Model of Elementary Particle Physics: The students will learn the properties and foundations of the Standard Model of Elementary Particle Physics.		
<b>Voraussetzungen:</b> Quantum Mechanics at bachelor level. Particularly suited for students with Bachelor of Physics or Applied Science Unbenotete Übungen zu The Standard Model of Elementary Physics (5 LP) sind Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung. English Translation: ungraded exercises for The Standard Model of Elementary Physics (5 cr) are required for the registration for the final module exam.		
<b>Modulverantwortliche(r):</b> Prof. Dr. Peter Mättig		

### Nachweise zu Experimental Particle Physics 1

Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Mündliche Prüfung (uneingeschränkt )	<b>Prüfungsdauer:</b> 30 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 3	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
<b>Bemerkungen:</b> English Translation: oral exam (30 minutes)			
unbenotete Studienleistung			
<b>Art des Nachweises:</b> zu The Standard Model of Elementary Particle Physics: Übungen	<b>Prüfungsdauer:</b> -	<b>Nachgewiesene LP:</b> 5	<b>Nachweis für:</b> Modulteil(e) a
<b>Bemerkungen:</b> Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung. English Translation: ungraded exercises for The Standard Model of Elementary Physics, required for the registration for the final module exam.			

#### a The Standard Model of Elementary Particle Physics

<b>a The Standard Model of Elementary Particle Physics</b> (Fortsetzung)			
<b>Stellung im Modul:</b> Wahlpflicht (8 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 172,5 h	<b>Kontaktzeit:</b> 6 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> SS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b> Properties and foundations of the Standard Model of elementary particles. The topics covered in the lecture will be exercised solving concrete problems.			



## EPP2 Experimental Particle Physics 2

<b>Stellung im Studiengang:</b> Wahlpflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten.	<b>Workload:</b> 8 LP
<b>Stellung der Note:</b> 8/120	Das Modul sollte im 3. Semester begonnen werden.	240 h
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b>		
<p>Foundations of Elementary Particle and Astroparticle Physics: The students will be familiar with the structure of the Standard Model of elementary particle physics and possible extensions of it. They will acquire the principles for the determination of particle properties and reactions at particle accelerators, both theoretically and experimentally. The interconnection between particle and astroparticle physics is stressed. Foundations of the origin and detection of cosmic rays are given. Introduction to the concepts and techniques of modern detectors for particle and astro-particle physics.</p> <p>Introduction to Cosmology and General Relativity: The students will understand the basic principles of general relativity as the theoretical foundation of cosmology. They will get familiar with the general structure and contents of the Universe and its evolution from the big bang to the far future and they will understand the concept and observational evidence for the big bang itself. A number of spectacular observations have been made in recent years which have put Cosmology forward to a quantitative science. Solving problems related to the lectures will lead to a consolidation of the achieved competences.</p> <p>Architectures: The development of computers is particularly important in Particle Physics applications. The lecture on architectures provides the basic understanding of the functioning of a computer.</p>		
<b>Voraussetzungen:</b>		
No formal pre-requisite.		
<b>Bemerkungen:</b>		
Quantum Mechanics at bachelor level; particularly suited for students with Bachelor of Physics or Applied Science.		
<b>Modulverantwortliche(r):</b>		
Prof. Dr. Zoltan Fodor, Prof. Dr. Robert Harlander, Prof. Dr. Karl-Heinz Kampert, Prof. Dr. Wolfgang Wagner		

### Nachweise zu Experimental Particle Physics 2

<b>Modulabschlussprüfung</b>			
<b>Art des Nachweises:</b> Sammelmappe mit Begutachtung einschließlich mündlicher Prüfung (uneingeschränkt )	<b>Prüfungsdauer:</b> 30 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 8	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul

**Nachweise zu Experimental Particle Physics 2** (Fortsetzung)

**Bemerkungen:**

Das Modul hat folgende Wahlmöglichkeiten:

- 1) Foundations of Elementary Particle and Astroparticle Physics (Übungen, 2 LP; mündliche Prüfung, 6 LP)  
oder
- 2) Architectures (praktische Übung, 2 LP) + Introduction to Cosmology and General Relativity (Übungen, 3 LP;  
mündliche Prüfung, 3 LP)  
oder
- 3) Architectures (praktische Übung, 2 LP) + Detector Physics (Übungen, 3 LP; mündliche Prüfung, 3 LP)

English Translation:

Assessment of folder, including 30 minutes oral exam, unrestricted repeatable.

For the module the following combinations are possible:

- 1) Foundations of Elementary Particle and Astroparticle Physics (exercises, 2 cr; oral examination, 6 cr)  
or
- 2) Architectures (practical exercise, 2 cr) + Introduction to Cosmology and General Relativity (exercises, 3 cr;  
oral examination, 3 cr)  
or
- 3) Architectures (practical exercise, 2 cr) + Detector Physics (exercises, 3 cr; oral examination, 3 cr)

**a Architectures**

<b>Stellung im Modul:</b> Wahlpflicht (2 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung	<b>Selbststudium:</b> 48,75 h	<b>Kontaktzeit:</b> 1 SWS × 11,25 h
---	-------------------------------	----------------------------------	--

<b>Angebot im: WS</b>	<b>Fremdkomponente:</b> ja Fremdmodul: Theoretical Particle Physics 2 Verantwortliche(r): Prof. Dr. Zoltan Fodor, Prof. Dr. Karl-Heinz Kampert
-----------------------	--

**Inhalte:**

- The computer system
- The memory system
- Input/output handling
- Internal structure and functioning of the CPU
- The control unit
- The instruction set
- Pipeline hazards
- Architectures for parallel computation

**b Foundations of Elementary Particle and Astroparticle Physics**

<b>Stellung im Modul:</b> Wahlpflicht (8 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 195 h	<b>Kontaktzeit:</b> 4 SWS × 11,25 h
---	--------------------------------------	--------------------------------	--

<b>b Foundations of Elementary Particle and Astroparticle Physics (Fortsetzung)</b>	
<b>Angebot im:</b> WS	<b>Fremdkomponente:</b> nein
<b>Inhalte:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Feynman diagrams and their application to cross sections and decay rates</li> <li>• concepts of the Standard Model</li> <li>• Intensified study of one or several aspects of the Standard Model, for example: electro-weak symmetry breaking, precision physics, QCD observables, flavor physics</li> <li>• particle-, gamma- and neutrino-radiation from the cosmos: origin, detection, and open questions</li> <li>• dark matter</li> <li>• relations between particle physics, astro-particle physics, and cosmology</li> </ul>	

<b>c Introduction to Cosmology and General Relativity</b>			
<b>Stellung im Modul:</b> Wahlpflicht (6 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 135 h	<b>Kontaktzeit:</b> 4 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> WS	<b>Fremdkomponente:</b> ja Fremdmodul:Theoretical Particle Physics 2 Verantwortliche(r):Prof. Dr. Zoltan Fodor, Prof. Dr. Karl-Heinz Kampert		
<b>Inhalte:</b> General co-ordinate transformations, metrics of space-time, Robertson-Walker metrics, Einstein and Friedmann Equations, cosmic dynamics and world models, Hubble Law, critical density of Universe, cosmological constant, age measurements, cosmic microwave background radiation, primordial nucleo-synthesis, dark matter			

<b>d Detector Physics</b>			
<b>Stellung im Modul:</b> Wahlpflicht (6 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 135 h	<b>Kontaktzeit:</b> 4 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> WS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b> Interactions of particles with matter, showers, momentum and track measurement, tracking detectors (gas chambers, semiconductor detectors, timing, energy measurement/calorimeters), particle identification, experiments in particle and astro-particle physics, instrumentation, data acquisition			

## Financial Mathematics

### FM1 Financial Mathematics 1

<b>Stellung im Studiengang:</b> Wahlpflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten.	<b>Workload:</b> 8 LP
<b>Stellung der Note:</b> 8/120	Das Modul sollte im 2. Semester begonnen werden.	240 h
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b> The students become familiar with basic concepts in Computational Finance. They learn how to model in finance, develop and use simulation tools and judge their efficiency and practicability in front offices.		
<b>Voraussetzungen:</b> No formal pre-requisites.		
<b>Bemerkungen:</b> Numerical Analysis at Bachelor Level, particularly suited for students with Bachelor of mathematics, Financial Mathematics or Applied Sciences.		
<b>Modulverantwortliche(r):</b> Prof. Dr. Michael Günther		

### Nachweise zu Financial Mathematics 1

Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Schriftliche Prüfung (Klausur) (uneingeschränkt )	<b>Prüfungsdauer:</b> 120 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 8	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
<b>Bemerkungen:</b> English Translation: written module examination (120 minutes), unrestrictedly repeatable.			
Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Mündliche Prüfung (uneingeschränkt )	<b>Prüfungsdauer:</b> 30 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 8	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
<b>Bemerkungen:</b> English Translation: oral module examination (30 minutes), unrestrictedly repeatable. Die Form der Modulabschlussprüfung wird zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben. English Translation: The type of the final module exam will be announced at the beginning of the lecture.			

### a Computational Finance 1

<b>Stellung im Modul:</b> Pflicht (8 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 172,5 h	<b>Kontaktzeit:</b> 6 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> SS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		

**a Computational Finance 1** (Fortsetzung)**Inhalte:**

- Modeling of financial markets, options
- Binomial method and its extensions,
- risk-neutral valuation, stochastic processes
- Geometric Brownian Motion, Ito Lemma
- exotic options
- stochastic differential equations (SDEs)
- Calibration, jump models
- generating random numbers with specified distributions
- Monte Carlo Methods, variance reduction approaches

## FM2 Financial Mathematics 2

<b>Stellung im Studiengang:</b> Wahlpflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten.	<b>Workload:</b> 8 LP
<b>Stellung der Note:</b> 8/120	Das Modul sollte im 3. Semester begonnen werden.	240 h
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b> The students become familiar with basic concepts in Computational Finance. They learn how to model in finance, develop and use simulation tools and judge their efficiency and practicability in front offices.		
<b>Voraussetzungen:</b> Numerical Analysis at Bachelor Level, particularly suited for students with Bachelor of mathematics, Financial Mathematics or Applied Sciences		
<b>Modulverantwortliche(r):</b> Prof. Dr. Michael Günther		

### Nachweise zu Financial Mathematics 2

Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Schriftliche Prüfung (Klausur) (uneingeschränkt)	<b>Prüfungsdauer:</b> 120 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 8	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
<b>Bemerkungen:</b>  English Translation: written module examination (120 minutes), unrestrictedly repeatable.			
Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Mündliche Prüfung (uneingeschränkt)	<b>Prüfungsdauer:</b> 30 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 8	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
<b>Bemerkungen:</b> English Translation: oral module examination (30 minutes), unrestrictedly repeatable. Die Form der Modulabschlussprüfung wird zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben. English Translation: The type of the final module exam will be announced at the beginning of the lecture.			

### a Computational Finance II

<b>Stellung im Modul:</b> Pflicht (8 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 172,5 h	<b>Kontaktzeit:</b> 6 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im: WS</b>	<b>Fremdkomponente:</b> nein		

**a Computational Finance II** (Fortsetzung)**Inhalte:**

- Finite Difference Methods (FDMs) for Parabolic equations
- stability, consistency, convergence, Von Neumann analysis
- FDMs applied to option pricing problems
- Boundary conditions
- Free Boundary Problem of American Options
- Linear complementarity problem, obstacle formulation, penalty methods
- error control, extrapolation, method of lines, transformation methods, splitting methods
- finite elements in option pricing, error estimates
- Pricing of exotic options; Asian options
- Upwind and High resolution methods
- Nonlinear Black-Scholes models and their numerical solution
- PIDEs: Valuation of options under jump processes

## Imaging in Medicine

### IMG1 Imaging 1

<b>Stellung im Studiengang:</b> Pflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten.	<b>Workload:</b> 8 LP
<b>Stellung der Note:</b> 8/180	Das Modul sollte im 2. Semester begonnen werden.	240 h
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b> The students will learn the basics of imaging and tomographic imaging. In particular they are introduced to the related physical principles.		
<b>Modulverantwortliche(r):</b> Prof. Dr. Uwe Pietrzyk, Dr. Markus Axer		

#### Nachweise zu Imaging 1

Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Schriftliche Prüfung (Klausur) (uneingeschränkt )	<b>Prüfungsdauer:</b> 60 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 4	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
<b>Bemerkungen:</b> English translation: written module examination (60 min.), unrestrictedly repeatable.			
Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Mündliche Prüfung (uneingeschränkt )	<b>Prüfungsdauer:</b> 30 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 4	<b>Nachweis für:</b> Modulteil(e) a b
<b>Bemerkungen:</b> English Translation: oral examination (30 min., 4 cr), unrestrictedly repeatable Die Form der Modulabschlussprüfung wird zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegen. English translation: The type of the final module exam will be announced at the beginning of the lecture.			
unbenotete Studienleistung			
<b>Art des Nachweises:</b> Übungen, Hausarbeit, etc.	<b>Prüfungsdauer:</b> -	<b>Nachgewiesene LP:</b> 4	<b>Nachweis für:</b> Modulteil(e) b
<b>Bemerkungen:</b> Voraussetzung für die Anmeldung zur mündlichen Prüfung. Die Form der unbenoteten Studienleistung (Übungen, Hausarbeit, etc.) wird zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben. English Translation: required for the registration for the oral exam. The type of the ungraded achievement (exercises, term paper, etc.) will be announced at the beginning of the lecture.			

#### a Introduction to Imaging and Tomographic Imaging



<b>a Introduction to Imaging and Tomographic Imaging</b> (Fortsetzung)			
<b>Stellung im Modul:</b> Pflicht (4 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 86,25 h	<b>Kontaktzeit:</b> 3 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> SS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Application of imaging in medicine and biology, starting from the data acquisition till the reconstruction of tomographic images</li> <li>- Various physical phenomena involved in the interaction of ionizing radiation with matter and how those can be exploited for detection</li> <li>- Improvement of current available imaging devices</li> <li>- Simulation of imaging devices and study of their potential improvements following a development pipeline, i.e. from basic events to a reconstructed image.</li> </ul>			

<b>b Seminar on Imaging I (Jülich)</b>			
<b>Stellung im Modul:</b> Pflicht (4 LP)	<b>Lehrform:</b> Seminar	<b>Selbststudium:</b> 97,5 h	<b>Kontaktzeit:</b> 2 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> SS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b>			
Preparation of oral presentations about a specific topic and comparison of different developments of an imaging technology over a period of time.			

<b>IMG2 Imaging 2</b>		
<b>Stellung im Studiengang:</b> Pflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten.	<b>Workload:</b> 8 LP
<b>Stellung der Note:</b> 8/180	Das Modul sollte im 3. Semester begonnen werden.	240 h
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b> The students will learn the basics of image processing in general and image analysis of tomographic images in particular.		
<b>Modulverantwortliche(r):</b> Prof. Dr. Uwe Pietrzyk, Dr. Markus Axer		

<b>Nachweise zu Imaging 2</b>			
Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Schriftliche Prüfung (Klausur) (uneingeschränkt )	<b>Prüfungsdauer:</b> 60 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 4	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
<b>Bemerkungen:</b> English Translation: written module examination (60 minutes), unrestrictedly repeatable			
Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Mündliche Prüfung (uneingeschränkt )	<b>Prüfungsdauer:</b> 30 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 4	<b>Nachweis für:</b> Modulteil(e) a
<b>Bemerkungen:</b> English Translation: oral examination (30 min., 4 cr), unrestrictedly repeatable Die Form der Modulabschlussprüfung wird zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben. English Translation: The type of the final module exam will be announced at the beginning of the lecture.			
unbenotete Studienleistung			
<b>Art des Nachweises:</b> Übungen, Hausarbeit, etc.	<b>Prüfungsdauer:</b> -	<b>Nachgewiesene LP:</b> 4	<b>Nachweis für:</b> Modulteil(e) b
<b>Bemerkungen:</b> Voraussetzung für die Anmeldung zur mündlichen Prüfung. Die Form der unbenoteten Studienleistung (Übungen, Hausarbeit, etc.) wird zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben. English Translation: required for the registration for the oral exam. The type of the ungraded achievement (exercises, term paper, etc.) will be announced at the beginning of the lecture.			

<b>a Image Processing and Data Visualization</b>			
<b>Stellung im Modul:</b> Wahlpflicht (4 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 86,25 h	<b>Kontaktzeit:</b> 3 SWS × 11,25 h

<b>a Image Processing and Data Visualization</b> (Fortsetzung)	
<b>Angebot im:</b> WS	<b>Fremdkomponente:</b> ja Fremdmodul: Computer Science 2 Verantwortliche(r): Dr. Holger Arndt, Dr. Torsten Harenberg, Prof. Dr. Uwe Pietrzyk, Dr. Markus Axer
<b>Inhalte:</b> Visualization pipeline, data sources and data types, transformation and filtering of data, techniques for visualizing 1, 2-, and 3d scalar data, marching cube algorithm, rendering systems and methods, ray-tracing, perception and color, color models, visualizing vector field data, information visualization of physical and abstract data, aesthetics and techniques in graphical design.	

<b>b Seminar on Imaging II (Jülich)</b>			
<b>Stellung im Modul:</b> Pflicht (4 LP)	<b>Lehrform:</b> Seminar	<b>Selbststudium:</b> 97,5 h	<b>Kontaktzeit:</b> 2 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> WS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Application of image analysis in medicine and biology, starting from the basic description and basic operations on images extending to image registration and image fusion- Handling of different filters, learning to handle the problem of proper sampling or interpolation</li> <li>- Comparison and automatic alignment of images; extracting of features applying various techniques</li> <li>- Preparation of a term paper about a selected topic based on a book chapter, scientific publication or writing a task specific program code including an oral presentation</li> </ul>			

## Materials Science

### MSci1 Materials Science 1

<b>Stellung im Studiengang:</b> Wahlpflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten.	<b>Workload:</b> 8 LP
<b>Stellung der Note:</b> 8/120	Das Modul sollte im 2. Semester begonnen werden.	240 h
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b> Understanding macroscopic (mostly polymer) material properties on the basis of microscopic interactions.		
<b>Voraussetzungen:</b> No formal pre-requisites.		
<b>Bemerkungen:</b> Basic Physics or Physical Chemistry including introductory quantum mechanics as acquired in undergraduate programs with strong focus on these subjects.		
<b>Modulverantwortliche(r):</b> Prof. Dr. Reinhard Hentschke		

### Nachweise zu Materials Science 1

Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Mündliche Prüfung (uneingeschränkt)	<b>Prüfungsdauer:</b> 30 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 8	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
<b>Bemerkungen:</b> English Translation: oral module examination (30 minutes), unrestrictedly repeatable.			

### a Concepts in Soft Matter Physics

<b>Stellung im Modul:</b> Pflicht (8 LP)	<b>Lehrform:</b> Form nach Ankündigung	<b>Selbststudium:</b> 217,5 h	<b>Kontaktzeit:</b> 2 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> SS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		

## a Concepts in Soft Matter Physics (Fortsetzung)

### Inhalte:

Basics in Statistical Thermodynamics

- Fundamental Laws, Thermodynamic Functions, Equilibrium and Stability, Microscopic Interactions, Non-equilibrium Thermodynamics

Introduction to the Theory of Elasticity

- Stress/Strain Tensor, Free Energy, Equilibrium Conditions, Examples

Selected Topics in Polymer Physics

- Single Chains, Characterization, Structure, Mechanical-Dynamic Properties Introduction to the Theory of Elasticity

### Bemerkungen:

Self-study following detailed study plan including written/numerical exercises: weekly meetings with instructor discussing problems and monitoring progress.

The study plan compiles to-do items on a weekly basis. The items will consist of reading assignments in selected texts. In addition there will be homework problems - either analytical or numerical - designed to test the students understanding of the course material.

## MSci2 Materials Science 2

<b>Stellung im Studiengang:</b> Wahlpflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten.	<b>Workload:</b> 8 LP
<b>Stellung der Note:</b> 8/120	Das Modul sollte im 3. Semester begonnen werden.	240 h
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b> Acquiring numerical modeling techniques used in industrial RD departments focussing on materials development and performance.		
<b>Voraussetzungen:</b> Concepts in Soft Matter Physics		
<b>Modulverantwortliche(r):</b> Prof. Dr. Reinhard Hentschke		

### Nachweise zu Materials Science 2

Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Schriftliche Hausarbeit (uneingeschränkt )	<b>Prüfungsdauer:</b> -	<b>Nachgewiesene LP:</b> 8	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
<b>Bemerkungen:</b> English Translation: written homework, unrestrictedly repeatable.			

### a Computational Materials Science

<b>Stellung im Modul:</b> Pflicht (8 LP)	<b>Lehrform:</b> Form nach Ankündigung	<b>Selbststudium:</b> 217,5 h	<b>Kontaktzeit:</b> 2 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> WS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b> Introduction to Mathematica The Finite Element Method  <ul style="list-style-type: none"> <li>Theoretical and Numerical Concepts, Applications in Structural Mechanics</li> </ul> Simulation with Monte Carlo and Molecular Dynamics  <ul style="list-style-type: none"> <li>Metropolis Sampling, Sampling Different Ensembles, MC Applications</li> <li>Simple NVE-MD Program for LJ Fluids, MD-NVT and MD-NPT Simulation,</li> </ul> Force Fields and Parametrization, Long-Range Interactions			

**a Computational Materials Science** (Fortsetzung)

**Bemerkungen:**

Self-study following detailed study plan including written/numerical exercises: weekly meetings with instructor discussing problems and monitoring progress.

The study plan compiles to-do items on a weekly basis. The items will consist of reading assignments in selected texts. In addition there will be homework problems - either analytical or numerical - designed to test the students understanding of the course material.

## Theoretical Chemistry

### TC1 Theoretical Chemistry 1

<b>Stellung im Studiengang:</b> Wahlpflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten.	<b>Workload:</b> 8 LP
<b>Stellung der Note:</b> 8/120	Das Modul sollte im 2. Semester begonnen werden.	240 h
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b> Acquisition of extended knowledge on the quantum-mechanical description of molecular motion. This description covers electron structure calculations, rotation-vibration theory and, as the final step, the simulation of observable molecular spectra and theoretical prediction of other measurable molecular properties. Acquisition of the skill to understand the workings of existing computer programs for carrying out such calculations/simulations and to modify and extend these programs.		
<b>Voraussetzungen:</b> Unbenotete Übungen (2 LP) sind Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung. English Translation: ungraded exercises (2 cr) are required for the registration for the final module exam.		
<b>Bemerkungen:</b> Quantum Mechanics at bachelor level; basic knowledge of mathematics and natural sciences (in particular theoretical chemistry) is assumed, corresponding to a bachelor degree in chemistry.		
<b>Modulverantwortliche(r):</b> Prof. Per Jensen, Ph.D.		

### Nachweise zu Theoretical Chemistry 1

Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Mündliche Prüfung (uneingeschränkt)	<b>Prüfungsdauer:</b> 30 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 6	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
<b>Bemerkungen:</b> English Translation: oral module examination (30 minutes), unrestrictedly repeatable.			
unbenotete Studienleistung			
<b>Art des Nachweises:</b> Übungen	<b>Prüfungsdauer:</b> -	<b>Nachgewiesene LP:</b> 2	<b>Nachweis für:</b> Modulteil(e) a
<b>Bemerkungen:</b> Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung. English Translation: ungraded exercises, required for the registration for the final module exam.			

### a Quantum Theory of Molecules



<b>a Quantum Theory of Molecules</b> (Fortsetzung)			
<b>Stellung im Modul:</b> Pflicht (8 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 172,5 h	<b>Kontaktzeit:</b> 6 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> SS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b> Fundamental quantum mechanics; Molecular Hamiltonian; Born-Oppenheimer approximation; Molecular orbitals as LCAO's; Self-Consistent-Field method; Slater determinants; Configuration interaction; Basis sets for SCF-CI calculations; Introduction to Density Functional Theory; Vibration and normal coordinates; Rotation and angular momentum; Intensities			

## TC2 Theoretical Chemistry 2

<b>Stellung im Studiengang:</b> Wahlpflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten.	<b>Workload:</b> 8 LP
<b>Stellung der Note:</b> 8/120	Das Modul sollte im 3. Semester begonnen werden.	240 h
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b> Acquisition of the skill to apply existing computer programs for carrying out electron structure calculations, the simulation of observable molecular spectra, and theoretical prediction of other measurable molecular properties, and of the skill to optimize the numerical procedures employed in these computer programs.		
<b>Voraussetzungen:</b> TC1 Unbenotete Übungen (2 LP) sind Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung. English Translation: ungraded exercises (2 cr) are required for the registration for the final module exam.		
<b>Bemerkungen:</b> Quantum Mechanics at bachelor level; particularly suited for students with Bachelor of Chemistry or Applied Science.		
<b>Modulverantwortliche(r):</b> Prof. Per Jensen, Ph.D.		

### Nachweise zu Theoretical Chemistry 2

Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Mündliche Prüfung (uneingeschränkt)	<b>Prüfungsdauer:</b> 30 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 6	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
<b>Bemerkungen:</b> English Translation: oral module examination (30 minutes), unrestrictedly repeatable.			
unbenotete Studienleistung			
<b>Art des Nachweises:</b> Übungen	<b>Prüfungsdauer:</b> -	<b>Nachgewiesene LP:</b> 2	<b>Nachweis für:</b> Modulteil(e) a
<b>Bemerkungen:</b> Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung. English Translation: ungraded exercises, required for the registration for the final module exam.			

### a Theoretical Chemistry Applications

<b>Stellung im Modul:</b> Pflicht (8 LP)	<b>Lehrform:</b> Übung	<b>Selbststudium:</b> 172,5 h	<b>Kontaktzeit:</b> 6 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> WS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b> Electronic structure of molecules; Analytical representations of potential energy surfaces; interaction between electronic states; Simulation of molecular spectra; Optimization of numerical procedures employed in existing programs for the simulation of molecular spectra.			

## Theoretical Particle Physics

### TPP1 Theoretical Particle Physics 1

<b>Stellung im Studiengang:</b> Wahlpflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten.	<b>Workload:</b> 8 LP
<b>Stellung der Note:</b> 8/120	Das Modul sollte im 2. Semester begonnen werden.	240 h
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b>		
<p>The Standard Model of Elementary Particle Physics: The students will learn the properties and foundations of the Standard Model of Elementary Particle Physics.</p> <p>Statistical Field Theory: Knowledge of phase transitions and criticality of lattice- and continuums-models, as well as the possible range of critical exponents and their deduction from scaling arguments within the framework of the renormalization group and finite-size-scaling arguments. Conveying the special properties of conformal invariance in two dimensions. Mastery of computational skills like perturbation theory and integrability of low dimensional systems, in particular the Bethe-Ansatz.</p> <p>Many Particle Theory: Knowledge of phenomena in solid state physics which can not be explained by one-particle properties. Interaction of phonons with electrons within the framework of perturbation theory. The aim is the understanding of the systematics and general properties of perturbation theory and the limits of perturbative theoretical methods.</p>		
<b>Voraussetzungen:</b>		
<p>Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung sind 5 LP aus der unbenoteten Studienleistung aus einer der Komponenten a, b oder c.</p> <p>English Translation: ungraded exercises (5 cr) from one of the components a, b or c are required for the registration for the final module exam.</p>		
<b>Bemerkungen:</b>		
<p>Quantum Mechanics at bachelor level; knowledge from lectures on Theoretical Physics are assumed for the courses in statistical physics. Particularly suited for students with Bachelor of Physics or Applied Science</p>		
<b>Modulverantwortliche(r):</b>		
Prof. Dr. Andreas Klümper, Prof. Dr. Peter Mättig		

### Nachweise zu Theoretical Particle Physics 1

Modulabschlussprüfung			
<b>Art des Nachweises:</b> Mündliche Prüfung (uneingeschränkt)	<b>Prüfungsdauer:</b> 30 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 3	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
<b>Bemerkungen:</b>			
English Translation: oral module examination (30 minutes), unrestrictedly repeatable.			
unbenotete Studienleistung			
<b>Art des Nachweises:</b> zu The Standard Model of Elementary Particle Physics oder Statistical Field Theory oder Many Particle Theory:Übungen	<b>Prüfungsdauer:</b> -	<b>Nachgewiesene LP:</b> 5	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul

**Nachweise zu Theoretical Particle Physics 1** (Fortsetzung)

**Bemerkungen:**

English Translation: Exercises for The Standard Model of Elementary Particle Physics or Statistical Field Theory or Many Particle Theory

**a The Standard Model of Elementary Particle Physics**

<b>Stellung im Modul:</b> Wahlpflicht (8 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 172,5 h	<b>Kontaktzeit:</b> 6 SWS × 11,25 h
---	--------------------------------------	----------------------------------	--

<b>Angebot im:</b> SS	<b>Fremdkomponente:</b> ja Fremdmodul: Experimental Particle Physics 1 Verantwortliche(r): Prof. Dr. Peter Mättig
-----------------------	---

**Inhalte:**

Properties and foundations of the Standard Model of elementary particles.  
The topics covered in the lecture will be exercised solving concrete problems.

**b Statistical Field Theory**

<b>Stellung im Modul:</b> Wahlpflicht (8 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 172,5 h	<b>Kontaktzeit:</b> 6 SWS × 11,25 h
---	--------------------------------------	----------------------------------	--

<b>Angebot im:</b> SS	<b>Fremdkomponente:</b> nein
-----------------------	------------------------------

**Inhalte:**

- Critical Phenomena
- Renormalization Group
- Conformal Invariance
- Conformal Field Theory
- Finite-Size-Scaling
- Two-dimensional Ising-Model
- Non-linear Sigma-Model
- Thermodynamics of exactly solvable Vertex models and Bethe-Ansatz
- Stochastical systems
- Random-Walk and Brownian Motion

**c Many Particle Theory**

<b>c Many Particle Theory</b> (Fortsetzung)			
<b>Stellung im Modul:</b> Wahlpflicht (8 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 172,5 h	<b>Kontaktzeit:</b> 6 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> SS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Occupation number representation</li> <li>• Microscopic electronic models and solid state theory</li> <li>• Greens function and perturbation theory</li> <li>• Feynman-diagram techniques</li> <li>• Applications of perturbation theory in physics</li> <li>• Linear response theory</li> </ul>			

## TPP2 Theoretical Particle Physics 2

<b>Stellung im Studiengang:</b> Wahlpflicht	Das Modul erstreckt sich über 2 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten.	<b>Workload:</b> 8 LP
<b>Stellung der Note:</b> 8/120	Das Modul sollte im 3. Semester begonnen werden.	240 h
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b>		
<p>Quantum Field Theory: The students are prepared for modern research in the field of theoretical particle physics and its computer assisted applications.</p> <p>Cosmology: The students will understand the basic principles of general relativity as the theoretical foundation of cosmology. They will get familiar with the general structure and contents of the Universe and its evolution from the big bang to the far future and they will understand the concept and observational evidence for the big bang itself. A number of spectacular observations have been made in recent years which have put Cosmology forward to a quantitative science. Solving problems related to the lectures will lead to a consolidation of the achieved competences.</p> <p>Architectures: The development of computers is particularly important in Particle Physics applications. The lecture on architectures provides the basic understanding of the functioning of a computer.</p> <p>Advanced Quantum Mechanics: The students learn advanced methods and techniques of quantum mechanics, in particular the relativistic formulation and the field quantization. They will gain an overview of various computational methods and approximations as well as the fundamental importance of relativistic phenomena in physics. They will also learn the foundations of theoretical particle physics.</p>		
<b>Voraussetzungen:</b>		
No formal pre-requisites.		
<b>Bemerkungen:</b>		
Quantum Mechanics at bachelor level; particularly suited for students with Bachelor of Physics or Applied Science.		
<b>Modulverantwortliche(r):</b>		
Prof. Dr. Zoltan Fodor, Prof. Dr. Karl-Heinz Kampert		

### Nachweise zu Theoretical Particle Physics 2

#### Modulabschlussprüfung

<b>Art des Nachweises:</b> Sammelmappe mit Begutachtung einschließlich mündlicher Prüfung (uneingeschränkt )	<b>Prüfungsdauer:</b> 30 min. Dauer	<b>Nachgewiesene LP:</b> 8	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
---	--	-------------------------------	--------------------------------------

**Nachweise zu Theoretical Particle Physics 2** (Fortsetzung)

**Bemerkungen:**

Das Modul hat folgende Wahlmöglichkeiten:

1) Quantum Field Theory in Particle Physics (Übungen, 2 LP; mündliche Prüfung, 6 LP)  
oder

2) Advanced Quantum Mechanics (mündliche oder schriftliche Prüfung, 8 LP)  
oder

3) Architectures (praktische Übung, 2 LP) + Introduction to Cosmology and General Relativity (Übungen, 3 LP;  
mündliche Prüfung, 3 LP)

English Translation:

Assessment of folder, including 30 minutes oral exam, unrestrictedly repeatable.

For the module the following combinations are possible:

1) Quantum Field Theory in Particle Physics (exercises, 2 cr; oral examination, 6 cr)  
or

2) Advanced Quantum Mechanics (oral or written examination, 8 cr)  
or

3) Architectures (practical exercise, 2 cr) + Introduction to Cosmology and General Relativity (exercises, 3 cr;  
oral examination, 3 cr)

**a Quantum Field Theory in Particle Physics**

<b>Stellung im Modul:</b> Wahlpflicht (8 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 195 h	<b>Kontaktzeit:</b> 4 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> SS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		
<b>Inhalte:</b> Quantization of scalar, spinor and vector fields; symmetries; regularization and basics of renormalization; Feynman diagrams and calculation of cross-sections; Quantum Electrodynamics.			

**b Architectures**

<b>Stellung im Modul:</b> Wahlpflicht (2 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung	<b>Selbststudium:</b> 48,75 h	<b>Kontaktzeit:</b> 1 SWS × 11,25 h
<b>Angebot im:</b> WS	<b>Fremdkomponente:</b> nein		

## b Architectures (Fortsetzung)

### Inhalte:

- The computer system
- The memory system
- Input/output handling
- Internal structure and functioning of the CPU
- The control unit
- The instruction set
- Pipeline hazards
- Architectures for parallel computation

## c Introduction to Cosmology and General Relativity

<b>Stellung im Modul:</b> Wahlpflicht (6 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 135 h	<b>Kontaktzeit:</b> 4 SWS × 11,25 h
---	--------------------------------------	--------------------------------	--

**Angebot im:** WS      **Fremdkomponente:** nein

### Inhalte:

General co-ordinate transformations, metrics of space-time, Robertson-Walker metrics, Einstein and Friedmann Equations, cosmic dynamics and world models, Hubble Law, critical density of Universe, cosmological constant, age measurements, cosmic microwave background radiation, primordial nucleo-synthesis, dark matter

## d Advanced Quantum Mechanics

<b>Stellung im Modul:</b> Pflicht (8 LP)	<b>Lehrform:</b> Vorlesung/ Übung	<b>Selbststudium:</b> 172,5 h	<b>Kontaktzeit:</b> 6 SWS × 11,25 h
---	--------------------------------------	----------------------------------	--

**Angebot im:** WS      **Fremdkomponente:** nein

### Inhalte:

- Invariance of the equations of motion and conserved quantities
- Time reversal
- Time dependent perturbation theory
- Variational methods
- Hartree Fock equation
- Structure of molecules
- Scattering theory: cross section, Born series, single and multiple scattering
- S- and T-matrix
- Relativistic quantum mechanics: Klein-Gordon and Dirac equation
- Field quantization
- Quantum theory of radiation
- Foundations of particle physics



## Master Thesis

<b>MT Master Thesis</b>		
<b>Stellung im Studiengang:</b> Pflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird semesterweise angeboten.	<b>Workload:</b> 30 LP
<b>Stellung der Note:</b> 30/120	Das Modul sollte im 4. Semester begonnen werden.	900 h
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen:</b> Die in englischer Sprache zu verfassende Abschlussarbeit soll zeigen, dass die Kandidatin oder der Kandidat sein Fachgebiet beherrscht und in der Lage ist, innerhalb einer vorgegebenen Frist eine einschlägige Aufgabenstellung selbstständig zu bearbeiten. Das Thema der Masterarbeit wird mit Bezug zum Wahlfach gewählt. English Translation: The master thesis written in English has to prove that the candidate masters his field of study and that he/she is able to accomplish independently a task relevant to this field within a given time frame. The topic of the master thesis is chosen with reference to the specialization.		
<b>Voraussetzungen:</b> Voraussetzung für die Ausgabe des Themas der Abschlussarbeit ist der Nachweis von 70 LP sowie der Abschluss aller beschränkt wiederholbarer Modulprüfungen. English Translation: 70 credit points as well as the conclusion of all module examinations which can only be repeated a restricted number of times are required for getting the topic of the master thesis.		
<b>Modulverantwortliche(r):</b> Alle Hochschullehrerinnen und Hochschullehrer der gewählten Spezialisierung		

<b>Nachweise zu Master Thesis</b>			
Abschlussarbeit			
<b>Art des Nachweises:</b> (1-mal wiederholbar )	<b>Prüfungsdauer:</b> -	<b>Nachgewiesene LP:</b> 30	<b>Nachweis für:</b> ganzes Modul
<b>Bemerkungen:</b>  English Translation: master thesis, can be repeated once.			